

10/585871

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP04/013830

International filing date: 06 December 2004 (06.12.2004)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE  
Number: 10 2004 001 786.7  
Filing date: 12 January 2004 (12.01.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 07 February 2005 (07.02.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 10 2004 001 786.7

Anmeldetag: 12. Januar 2004

Anmelder/Inhaber: Behr GmbH & Co KG, 70469 Stuttgart/DE

Bezeichnung: Wärmeübertrager, insbesondere für überkritischen  
Kältekreislauf

IPC: F 28 D, F 25 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 3. Januar 2005  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Hintermeier".

Hintermeier

BEHR GmbH & Co. KG

5

Mauserstraße 3, 70469 Stuttgart

10       **Wärmeübertrager, insbesondere für überkritischen Kältekreislauf**

Die Erfindung betrifft einen Wärmeübertrager, insbesondere für einen überkritischen Kältekreislauf nach dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

15

Wärmeübertrager für überkritische Kältekreisläufe erfordern eine druckfeste Bauweise für Rohre und Sammelbehälter, da der Kälteprozess bei hohen Drücken, bis zu etwa 120 bar abläuft. Derartige Wärmeübertrager wurden durch die DE-A 199 06 289, die DE-A 100 07 159 sowie die WO 98/51983 A

20

bekannt. Diese bekannten Wärmeübertrager werden teilweise in einem mit CO<sub>2</sub> (R 744) betriebenen überkritischen Kältekreislauf als Gaskühler eingesetzt; sie sind im Wesentlichen durch eine einreihige Bauweise mit zwei Sammelführungen gekennzeichnet, d. h. eine Reihe von Flachrohren, die als extrudierte Mehrkammerrohre ausgebildet und mit ihren Enden in den Sammelführungen befestigt und abgedichtet sind, beispielsweise durch Löten. Das Kältemittel durchströmt den Gaskühler dabei – wie in der DE-A 100 07 159 gezeigt – serpentinenförmig, d. h. mehrfach, dabei wird das Kältemittel in einer Ebene, senkrecht zur Luftströmungsrichtung, umgelenkt, d. h. in der Höhe oder in der Breite des Gaskühlers.

25

Durch die EP-B 414 433 wurde ein Kältemittelkondensator bekannt, bei welchem zwei einreihige Wärmeübertrager in Luftströmungsrichtung hintereinander angeordnet und kältemittelseitig hintereinander geschaltet sind (so genannter Duplex-Wärmeübertrager). Bei dem bekannten Kondensator werden Kältemittel und Luft im Kreuzgegenstrom zueinander geführt, d. h. das

30

35

Kältemittel tritt in den leeseitigen Wärmeübertrager (Rohrreihe) ein und verlässt den Kondensator über den luvseitigen Wärmeübertrager (Rohrreihe). Jede Rohrreihe eines Wärmeübertragers ist dabei in Rohrgruppen oder Rohrsegmente unterteilt, sodass sich für das kondensierende Kältemittel ein abnehmender Strömungsquerschnitt ergibt. Die Rohrreihen bestehen aus extrudierten Flachrohren; zwischen denen Wellrippen angeordnet sind. Eine Rohrreihe bildet zusammen mit Sammelrohren eine Wärmetauschereinheit, welche mit der anderen Wärmetauschereinheit durch Rohrstücke kältemittel-  
5 seitig verbunden ist.

10 Ein ähnlicher mehrreihiger Wärmeübertrager, ein Verflüssiger für ein Kältemittel einer Fahrzeugklimaanlage, wurde durch die EP-B 401 752 bekannt. Auch hier werden Kältemittel, d. h. ein konventionelles Kältemittel wie R 134a im Kreuzgegenstrom mit Umgebungsluft geführt, wobei generell vier  
15 Rohrreihen luftseitig hintereinander angeordnet sind. Dabei handelt es sich um Rundrohre mit Flachrippen, d. h. um einen mechanisch gefügten Wärmeübertragerblock.

Bei Kraftfahrzeug-Klimaanlagen wird der Kondensator im Motorraum des  
20 Kraftfahrzeuges vor dem Kühlmittel/Luftkühler angeordnet. Die aus dem Kondensator austretende erwärmte Luft durchströmt anschließend den Kühlmittel/Luftkühler. Eine derartige Anordnung ist auch für Gaskühler für CO2-Klimaanlagen der eingangs genannten Art vorgesehen – daher die einreihige Bauweise mit relativ großer Stirnfläche, welche an den dahinter liegenden Kühlmittel/Luftkühler angepasst ist. Diese Bauweise und Anordnung hat verschiedene Nachteile: einerseits behindert die Anordnung eines Gas-  
25 kühlers vor dem Kühlmittelkühler die Leistungsfähigkeit des Kühlmittelkühlers, zum einen aufgrund des zusätzlichen druckseitigen Druckabfalls durch den Gaskühler und zum anderen aufgrund der Luftaufwärmung, verursacht durch die Wärmeabgabe vom Gaskühler an die durchströmende Luft. Andererseits erhält der vor dem Kühlmittelkühler angeordnete Gaskühler in bestimmten Fahrbetriebspunkten nur bestimmte Luftmengen in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bzw. von der Lüfterleistung. Die Klimatisierung  
30 des Kraftfahrzeuges ist also extrem abhängig vom Fahrzustand des Fahrzeugs. Ein der Erfindung zugrunde liegendes Problem besteht also darin,  
35

einen Wärmeübertrager, insbesondere für einen überkritischen Kältekreislauf zu schaffen, welcher die vorgenannten Nachteile vermeidet.

In dem Aufsatz „Design Strategies for R744 Gas Coolers“ von J. M. Yin,  
5 C.W. Bullard an P. S. Hrnjak (veröffentlicht in IIF-IIR Commission B1, B2,  
Purdue University USA-2000) werden zwei Konfigurationen von Gaskühlern  
gegenüber gestellt und verglichen, nämlich der so genannte multi-päss heat  
exchanger, der einreihige, mehrflutig durchströmte Wärmeübertrager, und  
der mehrreihige Gegenstromwärmeübertrager, wobei hierbei drei kältemittel-  
10 seitig hintereinander geschaltete Rohrreihen vorgesehen sind. Da das Käl-  
temittel CO<sub>2</sub> (R 744) im überkritischen Zustand, d. h. einphasig in den Gas-  
kühler eintritt, weist es einen relativ hohen Temperaturgradienten auf, im  
Gegensatz zu einem herkömmlichen Kältemittel (R134a), welches bei kon-  
stanter Temperatur kondensiert. Dieser Temperaturgradient kann wirksam in  
15 einem dreireihigen Gegenstromwärmeübertrager abgebaut werden, weshalb  
die Verfasser dieser Lösung den Vorzug geben. Zu einem ähnlichen Ergebnis  
kommen die Verfasser J. Peterson, A. Hafner, und G. Skaugen in ihrem  
Aufsatz „Development of compact heat exchangers für CO<sub>2</sub> air-conditioning  
systems“ (veröffentlicht in Int. J. Refrig. Vol. 21, No. 3 pp. 180 – 193, 1998).  
20 Auch hier wird der Gegenstromwärmeübertrager (counter flow heat exchan-  
ger) mit verringriger Stirnfläche und erhöhter Tiefe in Luftströmungsrichtung  
als vorteilhafter Gaskühler beschrieben.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Wärmeübertrager der ein-  
gangs genannten Art zu konzipieren, der den Bedingungen eines superkriti-  
schen Kältekreislaufes hinsichtlich Druck und Temperaturgradient Rechnung  
trägt und einen möglichst hohen Wirkungsgrad (COP, d. h. Coefficient of  
Performance) aufweist. Darüber hinaus soll dieser Wärmeübertrager hin-  
sichtlich seiner Abmessungen so beschaffen sein, dass er im Motorraum  
30 eines Kraftfahrzeuges einfach untergebracht und hinreichend mit Kühlluft  
versorgt werden kann.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Patenanspruches 1 gelöst. Er-  
findungsgemäß ist vorgesehen, dass der Wärmeübertrager, der vorzugswei-  
se im Gegenstrom betrieben wird, mindestens vier Rohrreihen aufweist, die

- in Luftströmungsrichtung hintereinander angeordnet sind. Gegenstrom heißt hier, dass das Strömungsmedium, vorzugsweise CO<sub>2</sub> zunächst in die lee-  
seitige Rohrreihe eintritt und aus der luvseitigen Rohrreihe wieder austritt.  
Damit trifft die in den Wärmeübertrager eintretende Kühlluft auf ein bereits in  
5 mindestens drei Rohrreihen ab- bzw. vorgekühltes Strömungsmedium. In  
diesen vier Rohrreihen, die nacheinander von dem Medium durchströmt  
werden, lässt sich der Temperaturgradient mit einer Temperaturdifferenz von  
ca. 100 Grad Celsius bei hinreichend niedrigem Druckabfall auf der Luftseite  
wirkungsvoll abbauen. Durch die mindestens vierreihige Ausbildung des  
10 Wärmeübertragers lässt sich die Stirnfläche verkleinern, sodass der Wärme-  
übertrager kompakte Abmessungen in Richtung auf einen Würfel erhält.  
Damit wird der Vorteil erreicht, dass der Wärmeübertrager, insbesondere,  
wenn er als Gaskühler einer CO<sub>2</sub>-Klimaanlage im Kraftfahrzeug eingesetzt  
wird, an beliebiger Stelle im Motorraum des Fahrzeuges untergebracht wer-  
den kann. Eine Anordnung vor dem Kühlmittelkühler, verbunden mit den  
15 oben genannten Nachteilen, entfällt. Die Kühlung des Wärmeübertragers  
kann durch zusätzliche Luftkanäle und ein spezielles Gebläse erfolgen. Da-  
mit wird auch eine Unabhängigkeit von den Fahrzuständen des Kraftfahr-  
zeugs erreicht, womit auch eine gleich bleibende Klimatisierung des Fahr-  
zeuginnenraumes gewährleistet ist. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass  
20 der Wirkungsgrad (COP) des erfindungsgemäßen Wärmeübertragers kaum  
schlechter als der vergleichbare Wärmeübertrager nach dem Stand der  
Technik ist.
- 25 Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind mindestens fünf  
bzw. optimal sechs Rohrreihen hintereinander angeordnet. Damit wird der  
Vorteil einer weiteren Leistungssteigerung des Wärmeübertragers erreicht,  
ohne dass der luftseitige Druckabfall und das Gewicht zu stark ansteigen.
- 30 Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind die Roh-  
re als Flachrohre, vorzugsweise als extrudierte Mehrkammerrohre und die  
Rippen als Wellrippen ausgebildet, welche zusammen einen gelöteten,  
druckfesten Wärmeübertragerblock hoher Leistung ergeben.

- In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung werden alle Rohre einer Reihe parallel durchströmt, und vorzugsweise werden diese Rohrreihen nacheinander durchströmt, wobei jeweils von Rohrreihe zu Rohrreihe eine so genannte Umlenkung in der Tiefe erfolgt. Die einzelnen Rohrreihen werden somit abwechselnd von oben nach unten und von unten nach oben durchströmt. Dadurch ergibt sich ein langer Weg für das Strömungsmedium in den Rohren und eine wirksame Abkühlung.
- In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung weisen die einzelnen Rohrreihen Rohrssegmente oder Rohrgruppen auf, die nacheinander durchströmbar sind – das Strömungsmedium wird „in der Breite“ einer Rohreihe umgelenkt. Dadurch erreicht man den Vorteil eines längeren Strömungsweges und einer stärkeren Abkühlung des Strömungsmediums.
- In vorteilhafter Weiterbildung der Erfindung können nur einzelne oder alle Rohrreihen in Rohrsegmente aufgeteilt werden, sodass der Strömungsweg noch weiter verlängert wird. Die Anzahl der Rohre in den Rohrsegmenten entspricht ungefähr der Hälfte der Anzahl der Rohre einer Rohreihe, sie kann aber auch abweichen, sodass sich unterschiedliche Rohrsegmente ergeben. Man kann somit, z. B. bei waagerecht angeordneten Rohren die Strömungsgeschwindigkeit im unteren oder im oberen Bereich des Blockes variieren und damit auch den Wärmeübergang.
- In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung weist jede Rohrreihe eigene Wellrippen auf, d. h. die Wellrippen benachbarter Rohrreihen sind thermisch entkoppelt bzw. thermisch isoliert. Damit ergibt sich eine maximale Abkühlung des Strömungsmediums.
- In weiterer Ausgestaltung der Erfindung kann es jedoch auch von Vorteil sein, für benachbarte Rohrreihen, beispielsweise zwei Rohrreihen eine gemeinsame, d. h. durchgehende Wellrippe vorzusehen. Dies bedeutet vor allem fertigungstechnische Vorteile.
- In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist für alle Rohrreihen eine gemeinsame durchgehende Wellrippe vorgesehen, d. h. eine thermi-

sche Koppelung zwischen den einzelnen Rohrreihen. Damit ergibt sich ein anderes Temperaturprofil für das Strömungsmedium.

5 In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung sind die Rohre benachbarter Rohrreihen fluchtend angeordnet, was z. B. für durchgehende Wellrippen Voraussetzung ist. Daraus ergibt sich ein geringerer luftseitiger Druckabfall.

10 In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung können die Rohre jedoch auch versetzt zueinander angeordnet sein, was zwar einen höheren luftseitigen Druckabfall, jedoch eine höhere Leistung des Wärmeübertragers erbringt.

15 In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung ist die Stirnfläche des Wärmeübertragers quadratisch oder hinsichtlich ihrer Abmessungen in Höhe und Breite einem Quadrat angenähert. Ein vorteilhaftes Verhältnis für Breite zu Höhe liegt im Bereich von 0,8 bis 1,2. Dies hat den Vorteil, dass ein Lüfter hinter oder vor der Stirnfläche für die Förderung der Kühlluft ausreichend ist, da er die Stirnfläche hinreichend überdeckt.

20 In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung weist die Stirnfläche eine Fläche im Bereich von 4 bis 16 dm<sup>2</sup> auf. Damit erreicht man gegenüber den herkömmlichen Wärmeübertragern eine verringerte Stirnfläche bei gleichzeitig vergrößerter Tiefe, d. h. der Wärmeübertrager hat eine kompakte, einem Würfel angenäherte Form und kann damit an beliebigen Stellen im Motorraum angeordnet werden. Der Kühlmittelkühler dagegen wird in seiner Leistung nicht mehr durch einen vorgeschalteten Kondensator oder Gaskühler beeinträchtigt.

30 In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung wird der oben erwähnte Wärmeübertrager mit der Vielzahl seiner Weiterbildungen als Gaskühler in einem überkritischen Kältekreislauf einer mit CO<sub>2</sub> betriebenen Kraftfahrzeug-Klimaanlage verwendet. Damit werden alle oben genannten Vorteile erreicht.

35 Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden im Folgenden näher beschrieben. Es zeigen

- Fig. 1a, 1b, 1c einen erfindungsgemäßen Wärmeübertrager mit vier, fünf, und sechs Reihen in schematischer Darstellung,  
5 Fig. 2a, 2b den erfindungsgemäßen Wärmeübertrager mit vier Reihen, wobei die letzten zwei bzw. drei Reihen in Rohrsegmente aufgeteilt sind,  
Fig. 3a, 3b einen erfindungsgemäßen Wärmeübertrager mit vier Reihen, wobei sämtliche Reihen in Rohrsegmente gleicher und ungleicher Anordnung aufgeteilt sind,  
10 Fig. 4 einen erfindungsgemäßen Wärmeübertrager mit Flachrohren und thermisch entkoppelten Wellrippen,  
Fig. 5 einen erfindungsgemäßen Wärmeübertrager mit vier Rohrreihen, wobei jeweils zwei benachbarte Rohrreihen eine gemeinsame Wellrippe aufweisen,  
15 Fig. 6 einen erfindungsgemäßen vierreihigen Wärmeübertrager mit durchgehender Wellrippe,  
Fig. 7 einen erfindungsgemäßen vierreihigen Wärmeübertrager mit versetzt angeordneten Rohren,  
Fig. 8 ein Diagramm für die Leistung des Wärmeübertragers in Abhängigkeit von der Anzahl der Rohreihen, wobei jede Rohrreihe ein Segment aufweist,  
20 Fig. 9 ein Diagramm wie in Fig. 8, jedoch mit nur je zwei Segmenten pro Rohrreihe.
- 25 Fig. 1a, 1b und 1c zeigen in schematischer Darstellung erste Ausführungsbeispiele eines erfindungsgemäßen Wärmeübertragers, der als Gaskühler für einen überkritischen Kältekreislauf konzipiert und einsetzbar ist. Insbesondere ist dieser Gaskühler für eine mit dem Kältemittel CO<sub>2</sub> (R744) betriebene Klimaanlage für ein Kraftfahrzeug verwendbar.
- 30 Fig. 1a zeigt ein vierreihiges Rohrsystem für einen Gaskühler 1, der von dem Kältemittel CO<sub>2</sub> durchströmt und von Umgebungsluft gekühlt wird, wobei die Luftströmungsrichtung durch Pfeile L dargestellt ist. Der Gaskühler 1 weist vier in Luftströmungsrichtung L hintereinander angeordnete Rohrreihen 1.1,
- 35

1.2, 1.3, 1.4 auf, die jeweils parallel zueinander verlaufende Rohre, dargestellt durch Pfeile R, aufweisen. Jede Rohrreihe 1.1 bis 1.4 weist die gleiche Anzahl von Rohren auf, die jeweils parallel durchströmt werden. Die einzelnen Rohrreihen sind kältemittelseitig hintereinander geschaltet, d. h. sie sind durch Kältemittelverbindungen, dargestellt durch punktierte Pfeile V, miteinander verbunden. Diese Verbindung V wird als Umlenkung des Kältemittels „in der Tiefe“ bezeichnet, wobei die Tiefenrichtung der Luftrichtung L entgegengesetzt ist. Das Kältemittel tritt zunächst in die leeseitige Reihe 1.1 ein, dargestellt durch einen punktierten Pfeil E, wird dann nach Durchströmen der einzelnen Reihen dreimal in der Tiefe umgelenkt und verlässt den Gaskühler nach Durchströmen der luvseitigen Reihe 1.4 über den Austritt A, dargestellt durch einen punktierten Pfeil A. Dieses Strömungsmodell von Luft und Kältemittel wird als Kreuzgegenstrom bezeichnet. Das Kältemittel CO<sub>2</sub> tritt etwa mit einem Druck von 125 bar und einer Temperatur von ca. 130 Grad Celsius in den Gaskühler, d. h. in die Rohrreihe 1.1. ein. Die Temperatur der Luft, die durch die Rohrreihe 1.4 in den Gaskühler 1 eintritt, beträgt etwa 45 Grad. Da die CO<sub>2</sub>-Klimaanlage im überkritischen Bereich arbeitet, erfolgt die Wärmeabfuhr nicht durch Kondensation bei konstanter Temperatur – wie dies beim Kältekreislauf mit R134a der Fall ist – sondern bei fallender Temperatur, d. h. einem Temperaturgradienten von 130 Grad Celsius bis etwa 50 Grad Celsius. Diese Temperaturdifferenz von 80 Grad Celsius wird sukzessive beim Durchströmen der einzelnen Rohrreihen 1.1 bis 1.4 abgebaut. Die Zahlen sind als Beispiele genannt, zum Teil ist die Temperaturdifferenz noch größer, d. h. ca. 100° Celsius. Der Gaskühler 1 weist eine so genannte berippte Stirnfläche auf, das ist die Fläche der Rohrreihe 1.4, die von Luft beaufschlagt wird und die Abmessungen B X H (Breite x Höhe) aufweist. Die Definition gilt für alle erfindungsgemäßen Gaskühlern.

Fig. 1b zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung, nämlich einen Gaskühler 2 mit fünf Rohrreihen 2.1, 2.2., 2.3, 2.4, 2.5, die in Luftströmungsrichtung L hintereinander angeordnet und auch kältemittelseitig hintereinander geschaltet sind. Es werden die gleichen Buchstaben für gleiche Teile wie in Fig. 1a verwendet: der Eintritt des Kältemittels erfolgt bei E, der Austritt bei A, die Verbindung der einzelnen Rohrreihen erfolgt durch eine Verbindungsleitung V. Der Gaskühler 2 unterscheidet sich somit vom Gaskühler 1

nur durch eine zusätzliche Rohrreihe, wodurch eine Leistungssteigerung des Gaskühlers 2 gegenüber dem Gaskühler 1 erreicht wird (vergleiche auch Fig. 8).

5      **Fig. 1c** zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung, nämlich einen Gaskühler 3 mit sechs Rohreihen 3.1 bis 3.6. Es liegt wiederum dasselbe Strömungsmodell wie in den Fig. 1a und 1b, d. h. Kreuzgegenstrom zugrunde. Nach dem Eintritt des Kältemittels bei E erfolgt bis zum Austritt des Kältemittels bei A eine fünfmalige Umlenkung V in der Tiefe entgegen der Luftströmungsrichtung L. Die konstruktive Ausbildung der hier schematisch dargestellten Gaskühler 1, 2, 3 erfolgt mit Mitteln, die aus dem eingangs genannten Stand der Technik bekannt sind, also beispielsweise durch parallel geschaltete extrudierte Mehrkammerrohre, die mit ihren Rohrenden in Sammelrohren gehalten und abgedichtet sind. Die Verbindung V kann durch Rohrbögen oder Umlenkkammern erfolgen.

10     Die **Fig. 2a** und **Fig. 2b** zeigen ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei welchem innerhalb einer Rohrreihe eine Umlenkung in der Breite erfolgt (oder auch in der Höhe), d. h. in der Ebene der Rohrreihe.

15     **Fig. 2a** zeigt einen Gaskühler 4 in schematischer Darstellung mit vier Rohrreihen 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 mit einem Kältemitteleintritt E, einem Kältemittelausritt A und Verbindungen V zwischen den einzelnen Rohrreihen 4.1 bis 4.4, d. h. drei Umlenkungen in der Tiefe. Die beiden zuerst vom Kältemittel durchströmten Rohrreihen 4.1, 4.2 werden parallel durchströmt, in den anschließenden Rohrreihen 4.3, 4.4 erfolgt für das Kältemittel eine Umlenkung in der Breite (bezogen auf die waagerecht dargestellten Rohre ist es eine Umlenkung in der Höhe). Die Rohreihe 4.3 ist in zwei Rohrsegmente (Rohrgruppen) 3a, 3b, jeweils dargestellt durch drei bzw. zwei Pfeile entgegengesetzter Richtung, aufgeteilt, die Rohreihe 4.4 ist in zwei Rohrsegmente 4a, 4b aufgeteilt. Die Umlenkung vom Rohrsegment 3a zum Rohrsegment 3b ist durch einen Pfeil U und die Umlenkung vom Rohrsegment 4a zum Rohrsegment 4b durch eine weitere Pfeil U dargestellt. Das Kältemittel liegt also in den beiden Rohrreihen 4.3, 4.4 den doppelten Weg wie in den Rohrreihen 4.1, 4.2 zurück, wobei die Aufteilung der Rohrreihen 4.3, 4.4 im Rohrseg-

mente – wie aus der zeichnerischen Darstellung ersichtlich – unterschiedlich gewählt ist.

Fig. 2b zeigt eine Weiterbildung der in Fig. 2 dargestellten Ausführungsform für einen Gaskühler 5, ebenfalls mit vier Rohrreihen 5.1, 5.2, 5.3, 5.4. Es werden wiederum die gleichen Buchstaben für gleiche Teile bzw. Symbole verwendet. Die erste Rohrreihe 5.1 wird parallel durchströmt, während in den kältemittelseitig folgenden Rohrreihen 5.2 bis 5.4 jeweils eine Umlenkung U im der Breite erfolgt; dabei ist die Aufteilung der Rohrreihen 5.2 bis 5.4 symmetrisch in gleiche Rohrsegmente 2a, 2b, 3a, 3b, 4a, 4b vorgenommen. Im unteren Bereich 2a, 3a, 4a ist die Strömungsgeschwindigkeit des Kältemittels niedriger als im oberen Bereich 2a, 3b, 4b – infolge der unterschiedlichen Strömungsquerschnitte. Durch diese Aufteilung von Rohrreihen in Rohrsegmente, verbunden mit einer Umlenkung in der Breite, lässt sich eine weitere Leistungssteigerung für den Gaskühler erreichen (vgl. Fig. 9).

Fig. 3a und Fig. 3b zeigen weitere Ausführungsbeispiele der Erfindung, wobei jede Rohrreihe in Rohrsegmente unterteilt ist und in jeder Rohrreihe eine Umlenkung in der Breite erfolgt.

Fig. 3a zeigt einen vierreihigen Gaskühler 6 mit Rohrreihen 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, wobei die einzelnen Röhren jeweils in ungleiche Rohrsegmente 1a, 1b, 2a, 2b, 3a, 3b und 4a, 4b unterteilt sind. Die Zahl der Pfeile symbolisiert die Anzahl der Rohre pro Rohrsegment, d. h. es liegen hier Rohrsegmente mit jeweils zwei und drei Rohren vor, die ständig miteinander abwechseln. Innerhalb einer Rohrreihe erfolgt eine Umlenkung in der Breite von einem dreirohrigen zu einem zweirohrigen Rohrsegment und von diesem eine Umlenkung in der Tiefe zu einem dreirohrigen und so weiter, entsprechend der Zeichnung, die hinreichend aussagefähig ist. Von Umlenkung zu Umlenkung wechselt also ständig der Strömungsquerschnitt und damit die Strömungsgeschwindigkeit des Kältemittels, wodurch sich innerhalb des Gaskühlers 6 örtlich unterschiedliche Wärmeübergangsverhältnisse ergeben.

Fig. 3b zeigt einen Gaskühler 7, der eine Abwandlung des Gaskühlers 6 darstellt, und zwar im Hinblick auf die Anordnung der Rohrsegmente pro

Rohrreihe. Der Unterschied gegenüber dem Gaskühler 6 besteht lediglich darin, dass die Rohrsegmente mit zwei Rohren jeweils oben und die Rohrsegmente mit drei Rohren unten liegen. Dabei erfolgt die Umlenkung V in der Tiefe jeweils von einem oben liegenden Zweirohrsegment 1b, 2b, 3b zu einem unten liegenden Dreirohrsegment 2a, 3a, 4a. Durch die Aufteilung jeder Rohrreihe in zwei Rohrsegmente lässt sich eine weitere Leistungssteigerung des Gaskühlers erreichen (vgl. Fig. 9).

Fig. 4 zeigt ein konstruktives Ausführungsbeispiel für einen vierreihigen Gaskühler 8 mit den Rohrreihen 8.1, 8.2, 8.3, 8.4, welche von Luft in der Strömungsrichtung der Pfeile L durchströmt werden. Entsprechend den vorherigen Ausführungen durchströmt das Kältemittel also zunächst die Rohrreihe 8.1 und zuletzt die Rohrreihe 8.4. Jede Rohrreihe 8.1 bis 8.4 weist fluchtend zueinander angeordnete Flachrohre 9 auf, die aufgrund der systembedingten hohen Drücke vorzugsweise als extrudierte Mehrkammerkammerflachrohre ausgebildet sind, wie aus dem eingangs genannten Stand der Technik bekannt. Zwischen den Flachrohren jeder Reihe 8.1 bis 8.4 sind Wellrippen 10 angeordnet, welche von der Luft überströmt werden. Zwischen den einzelnen Rohrreihen sind jeweils durchgehende Spalte s angeordnet, d. h. sowohl die Wellrippen 10 als auch die Flachrohre 9 sind thermisch entkoppelt, zwischen ihnen besteht keine direkte wärmeleitende Verbindung. Der Abstand h wird als Rippenhöhe, der Abstand b als Rohrbreite bezeichnet. Die so genannte Querteilung  $t_R$  der Flachrohre 9 beträgt  $t_R = h+b$ . Die Rohrteilung  $t_R$  ist für alle vier Rohrreihen gleich.

Fig. 5 zeigt ein weiteres konstruktives Ausführungsbeispiel eines vierreihigen Gaskühlers 11 mit den Rohrreihen 11.1, 11.2, 11.3, 11.4. Die Luftströmungsrichtung ist wiederum durch Pfeile L dargestellt. Zwei Reihen, nämlich die ersten beiden Rohrreihen 11.1, 11.2, und die letzten beiden Rohrreihen 11.3 und 11.4 weisen jeweils gemeinsame, durchgehende Wellrippen 12, 13 auf. Die Flachrohre 9 der Reihen 11.1, 11.2 sind somit über die durchgehende Wellrippe 12 thermisch gekoppelt, ebenso liegt eine thermische Kopplung bei den Reihen 11.3 und 11.4 durch die durchgehende Wellrippe 13 vor. Zwischen beiden Doppelreihen befindet sich dagegen ein quer zur Luftströ-

mungsrichtung verlaufender Spalt s, der eine thermische Entkopplung bewirkt.

5       **Fig. 6** zeigt ein weiteres konstruktives Ausführungsbeispiel der Erfindung,  
nämlich einen vierreihigen Gaskühler 14. Die vier Rohrreihen 14.1 bis 14.4  
weisen gemeinsame, durchgehende Wellrippen 15 auf, d. h. alle Rohreihen  
sind thermisch miteinander gekoppelt. Bei Eintritt des heißen Kältemittels in  
die erste Rohrreihe 14.1 kann somit Wärme in Richtung des Temperaturgefälles  
10 über die Wellrippen 15 abströmen, d. h. entgegen der Luftströmungsrichtung L.

15       **Fig. 7** zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung, nämlich einen vierreihigen Gaskühler 16 mit vier Rohrreihen 16.1, 16.2, 16.3, 16.4, deren Flachrohre 9, in Luftströmungsrichtung L gesehen, versetzt zueinander angeordnet sind. Die einzelnen Rohrreihen 16.1 bis 16.4 weisen daher – wie in Fig. 4 – separate Wellrippen 10 auf, d. h. die Rohrreihen sind über Spalte s thermisch entkoppelt. Durch die versetzte Anordnung ergibt sich ein verbesserter Wärmeübergang für die von der Luft angeströmte Schmalseite der Flachrohre 9.

20       **Fig. 8** zeigt ein Diagramm, bei welchem die Leistung des erfindungsgemäßigen Gaskühlers mit unterschiedlichen Stirnflächen über der Anzahl der Rohrreihen aufgetragen ist, wobei eine Rohrreihe parallel durchströmt wird, also ein einziges Segment bildet. Die aufsteigenden Kurvenäste stehen für verschiedene Stirnflächen, deren Größe aus der Legende rechts oben neben dem Diagramm hervorgeht. Der Gaskühler mit der höchsten Leistung weist auch die größte Stirnfläche, nämlich  $302 \times 300 \text{ mm}^2 = 9,06 \text{ dm}^2$  auf. Der unterste Kurvenast (Sternchen) weist die geringste Stirnfläche von  $202 \times 200 \text{ mm}^2 = 4,04 \text{ dm}^2$  auf. Die Leistung des erfindungsgemäßigen Gaskühlers steigt jeweils mit der Anzahl der Rohrreihen, wobei Werte für vier- bis achtreihige Systeme ermittelt und aufgetragen sind. Als Vergleichsbasis für den erfindungsgemäßigen Gaskühler wurde ein zweireihiges System mit einer Stirnfläche von  $20 \text{ dm}^2$  und einer Tiefe von 16 mm gewählt. Für die Leistung dieses bekannten Gaskühlers nach dem Stand der Technik sind zwei horizontale Geraden im Diagramm eingezeichnet, und zwar eine untere Horizontale bei

7,7 kW für den Leerlauf und eine darüber liegende Horizontale bei etwa 8,2 kW für eine Fahrzeuggeschwindigkeit von 32 km/h im 2. Gang. Aus diesem Vergleich ist ersichtlich, dass mit dem erfindungsgemäßen Gaskühler, zumindest bei den größeren Stirnflächen eine höhere Leistung gegenüber dem 5 Stand der Technik erzielbar ist.

Fig. 9 zeigt ein ähnliches Diagramm wie Fig. 8, allerdings basieren die hier dargestellten Werte auf Gaskühlern mit jeweils zwei Rohrsegmenten pro Reihe, d. h. in jeder Rohrreihe eines vier-, fünf-, sechs-, sieben- oder achtreihigen Systems ist jeweils eine Umlenkung in der Breite vorgenommen. 10 Die Stirnflächen für die einzelnen Kurvenäste ergeben sich wiederum aus der Legende; es sind dieselben Stirnflächen wie im Diagramm gemäß Fig. 8. Der Vergleich beider Diagramme zeigt deutlich, dass bei gleicher Stirnfläche, jedoch Umlenkung in der Breite bzw. zwei Rohrsegmenten pro Reihe eine 15 höhere Gaskühlerleistung erzielbar ist, die bei höheren Stirnflächen deutlich über dem Stand der Technik liegt, der derselbe wie im Diagramm der Fig. 8 ist. Die zugrunde gelegten Stirnflächen sind im Übrigen nahezu quadratisch und liegen in einem bevorzugten Flächenbereich von 4 bis 9 dm<sup>2</sup> – mit anderen Worten: es liegen „handliche“ Abmessungen für den erfindungsgemäßen 20 Gaskühler vor.

5

## Patentansprüche

- 10 1. Wärmeübertrager, insbesondere für überkritischen Kältekreislauf, mit einem aus Rohren und Rippen bestehenden Block, wobei die Rippen von einem gasförmigen Medium, insbesondere Luft überströmbar und die in mehreren Reihen angeordneten Rohre insbesondere im Kreuz-gegenstrom zum gasförmigen Medium von einem zweiten Medium; insbesondere einem Kältemittel durchströmbar sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens vier Rohrreihen (1.1, 1.2, 1.3, 1.4) in Strömungsrichtung L des gasförmigen Mediums hintereinander angeordnet sind.
- 20 2. Wärmeübertrager nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens fünf Rohrreihen (2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5) hintereinander angeordnet sind.
- 25 3. Wärmeübertrager nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass sechs Rohrreihen (3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6) hintereinander angeordnet sind.
- 30 4. Wärmeübertrager nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rohre als Flachrohre (9) und die Rippen als Wellrippen (10, 12, 13, 15) ausgebildet sind.
5. Wärmeübertrager nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Flachrohre (9) als extrudierte Mehrkammerrohre ausgebildet sind.

6. Wärmeübertrager nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rohre R einer Rohrreihe (1.1, 1.2, 1.3, 1.4) parallel durchströmbar sind.
- 5      7. Wärmeübertrager nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rohrreihen (1.1 bis 1.4; 2.1 bis 2.5; 3.1 bis 3.6) hintereinander durchströmbar sind:
- 10     8. Wärmeübertrager nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens eine Rohrreihe (4.3, 4.4) in Rohrsegmente (3a, 3b, 4a, 4b) mit einzelnen Rohren unterteilt ist, die nacheinander durchströmbar sind.
- 15     9. Wärmeübertrager nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die in Rohrsegmente (3a, 3b, 4a, 4b) unterteilten Rohrreihen (4.3, 4.4) in Strömungsrichtung L des gasförmigen Mediums vor den nicht unterteilten Rohrreihen (4.1, 4.2) angeordnet sind.
- 20     10. Wärmeübertrager nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass alle Rohrreihen (6.1 bis 6.4; 7.1 bis 7.4) in Rohrsegmente (1a, 1b, 2a, 2b, 3a, 3b, 4a, 4b) unterteilt sind, die hintereinander durchströmbar sind.
- 25     11. Wärmeübertrager nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rohrsegmente (1a bis 4b) unterschiedliche Anzahlen von Rohren aufweisen.
- 30     12. Wärmeübertrager nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rohrsegmente (1a bis 4b) etwa gleiche Anzahlen von Rohren aufweisen.
- 35     13. Wärmeübertrager nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verhältnis a/b der Anzahlen (a, b) der Rohre von zwei Rohrsegmenten (1a, 1b; 2a, 2b) einer Rohrreihe (6.1; 6.2) in einem Bereich von 0,7 bis 1,35 liegt.

14. Wärmeübertrager nach einem der Ansprüche 8 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rohrsegmente (1a, 1b; 2a, 2b; 3a, 3b; 4a, 4b) durch Sammelrohre verbunden und durch Trennwände in den Sammelrohren getrennt sind.  
5
15. Wärmeübertrager nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass benachbarte Rohrreihen untereinander durch Umlenkorgane (V) verbunden sind.  
10
16. Wärmeübertrager nach einem der Ansprüche 4 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wellrippen (10) der einzelnen Rohrreihen (8.1 bis 8.4) thermisch entkoppelt sind.  
15
17. Wärmeübertrager nach Anspruch 4 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeweils zwei Rohrreihen (11.1, 11.2; 11.3, 11.4) gemeinsame, durchgehende Wellrippen (12, 13) aufweisen.  
20
18. Wärmeübertrager nach Anspruch 4 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass alle Rohrreihen (14.1 bis 14.4) gemeinsame, durchgehende Wellrippen (15) aufweisen.  
25
19. Wärmeübertrager nach einem der Ansprüche 4 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Flachrohre (9) verschiedener Rohrreihen (11.1 bis 11.4) fluchtend zueinander angeordnet sind.
20. Wärmeübertrager nach einem der Ansprüche 4 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Flachrohre (9) unterschiedlicher Rohrreihen (16.1 bis 16.4) versetzt gegeneinander angeordnet sind.  
30
21. Wärmeübertrager nach einem der Ansprüche 4 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Querteilung  $t_R$  der Flachrohre (9) in allen Rohrreihen (16.1 bis 16.4) gleich ist.

22. Wärmeübertrager nach Anspruch 4 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Querteilung  $t_R$  benachbarter Rohrreihen verschieden ist.
- 5 23. Wärmeübertrager nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Block eine berippte Stirnfläche mit einer Höhe H und einer Breite B aufweist und dass das Verhältnis von B/H im Bereich von 0,8 bis 1,2 liegt.
- 10 24. Wärmeübertrager nach Anspruch 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Stirnfläche etwa quadratisch ausgebildet ist.
- 15 25. Wärmeübertrager nach Anspruch 23 oder 24, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Stirnfläche eine Fläche A in einem Bereich von 4 dm<sup>2</sup> bis 16 dm<sup>2</sup> aufweist.
- 20 26. Verwendung des Wärmeübertragers nach einem der vorhergehenden Ansprüche als Gaskühler in einem überkritischen Kältekreislauf einer vorzugsweise mit R744 (CO<sub>2</sub>) betriebenen Klimaanlage in Kraftfahrzeugen.

5

### Z u s a m m e n f a s s u n g

- 10 Die Erfindung betrifft einen Wärmeübertrager (1), insbesondere für einen überkritischen Kältekreislauf, mit einem aus Rohren und Rippen bestehenden Block, wobei die Rippen von einem gasförmigen Medium, insbesondere Luft überströmbar und die in mindestens vier Reihen angeordneten Rohre insbesondere im Kreuzgegenstrom zum gasförmigen Medium von einem zweiten Medium, insbesondere einem Kältemittel durchströmbar sind.
- 15

03-B-144

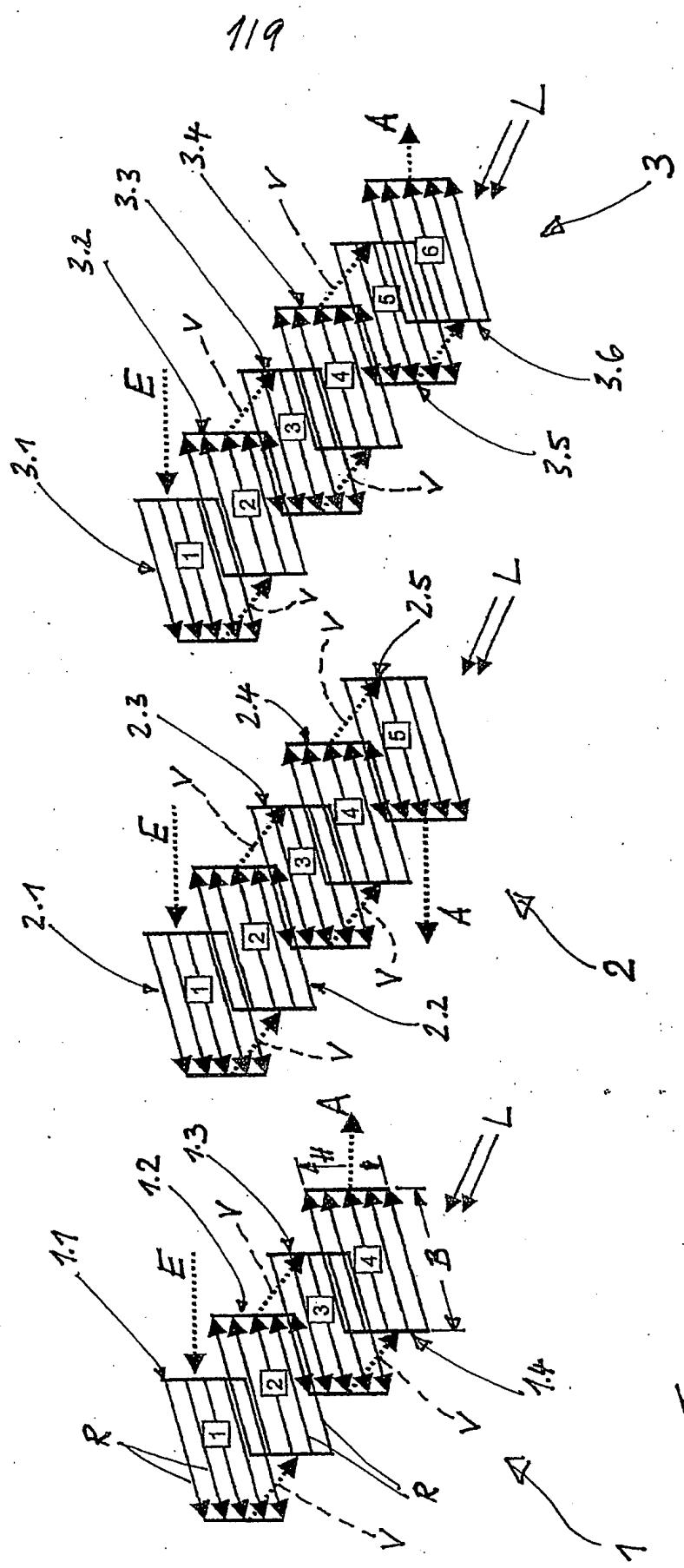


Fig. 1a

Fig. 1b

Fig. 1c

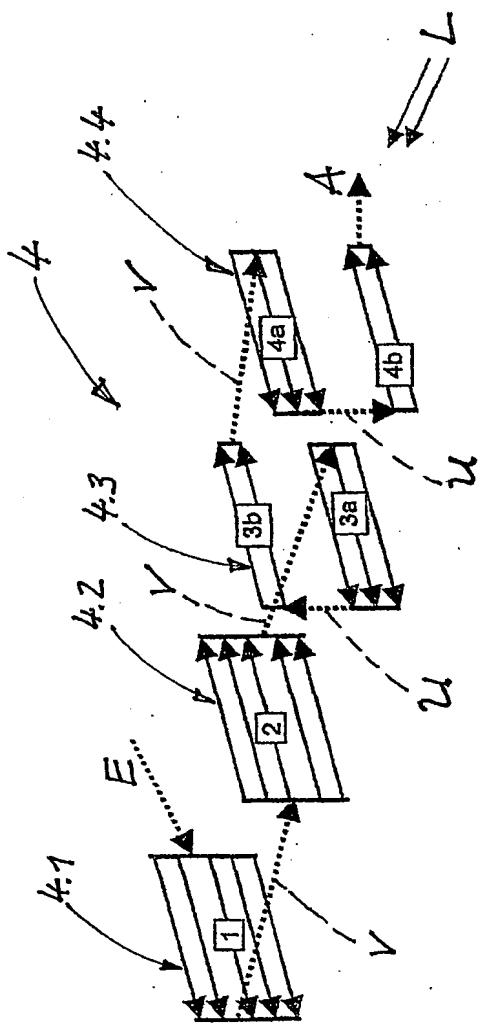


Fig. 2a

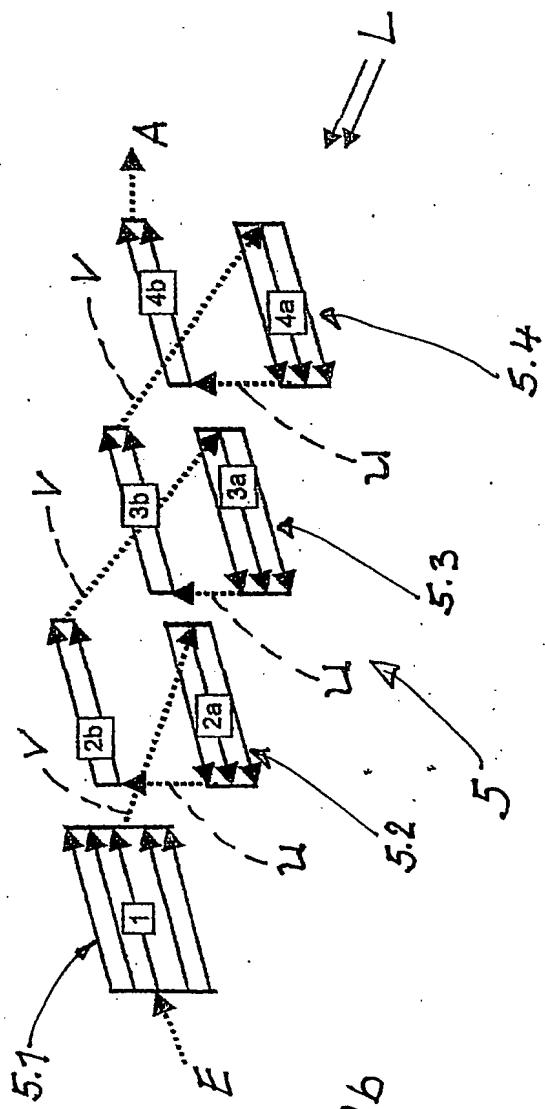


Fig. 2b

319

03-B-144

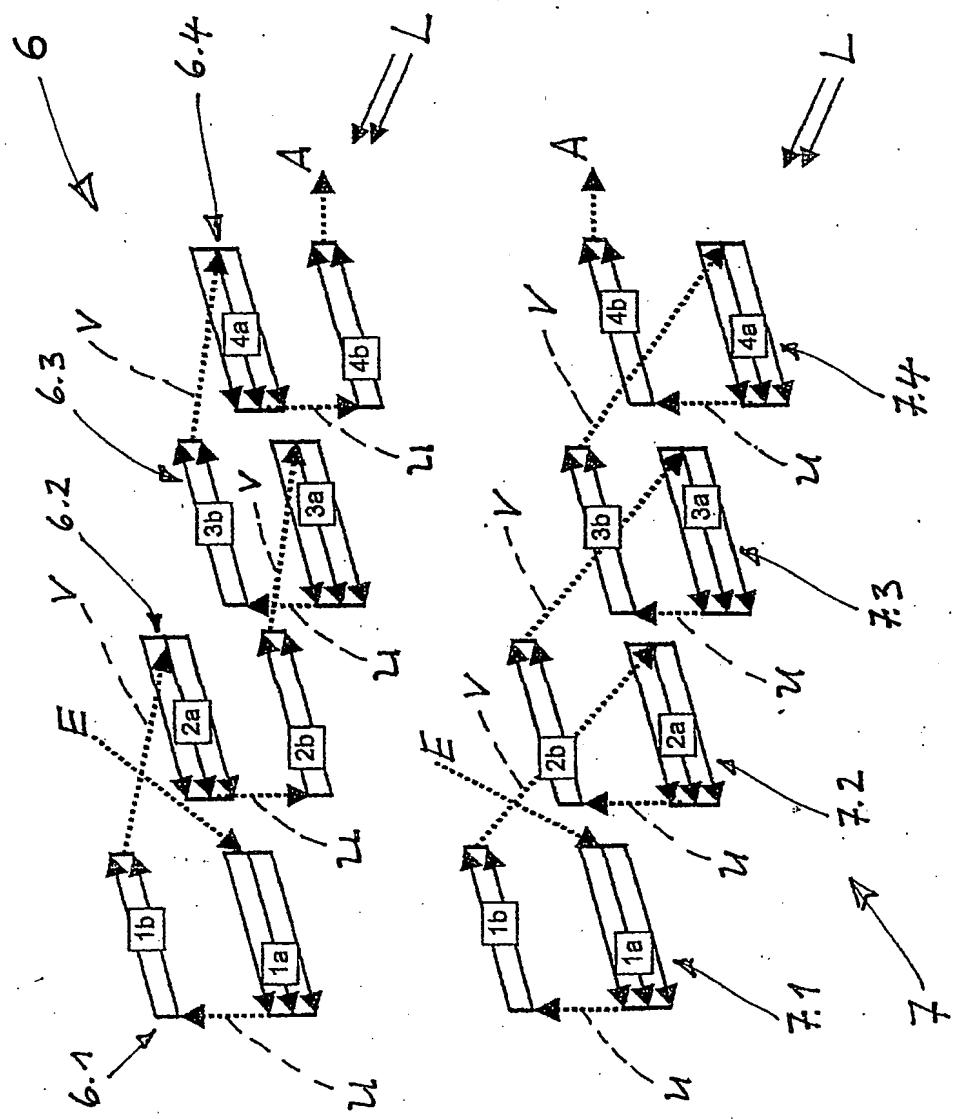


Fig. 3a

Fig. 3b

419

03-B-141

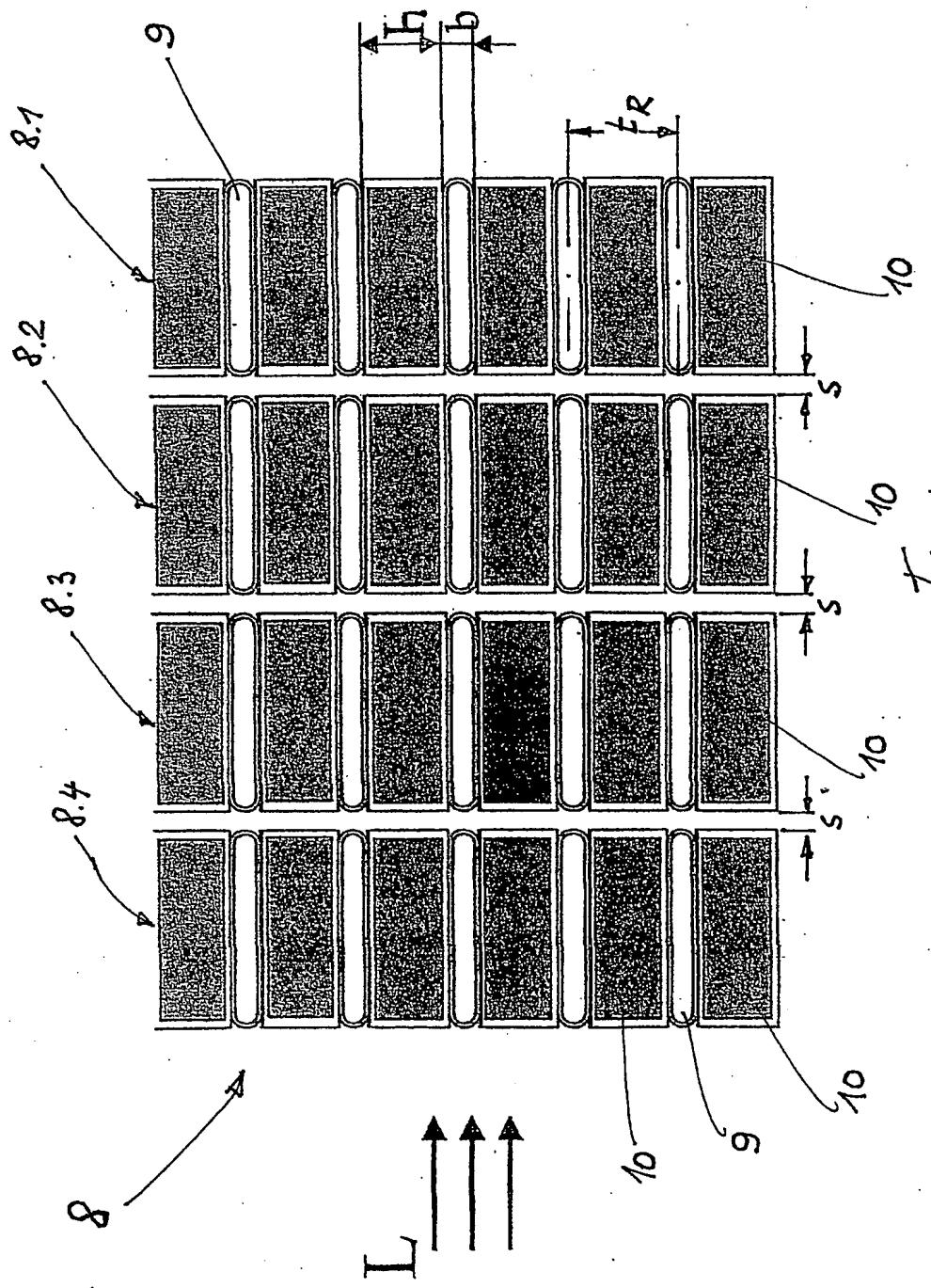


Fig. 4

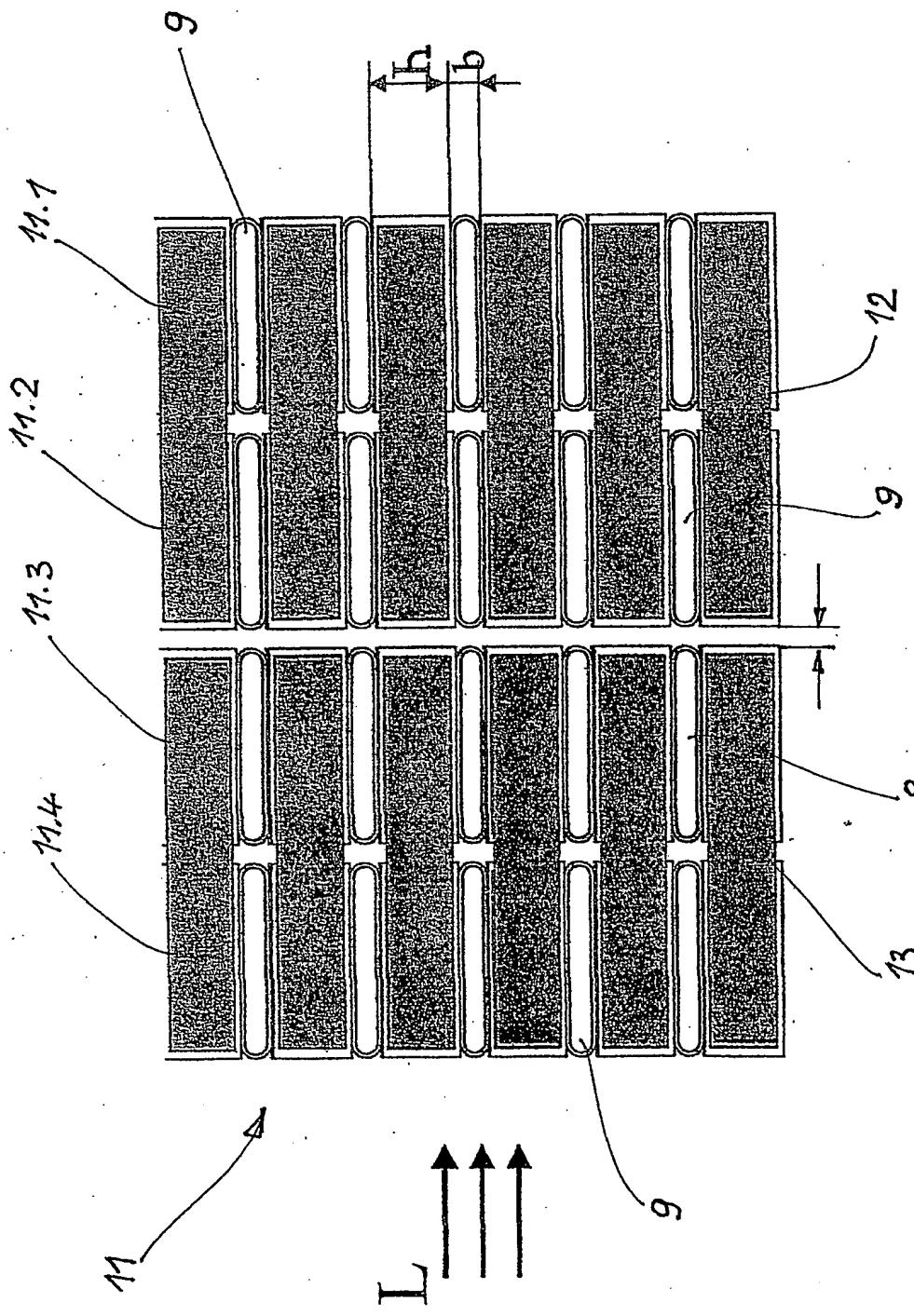
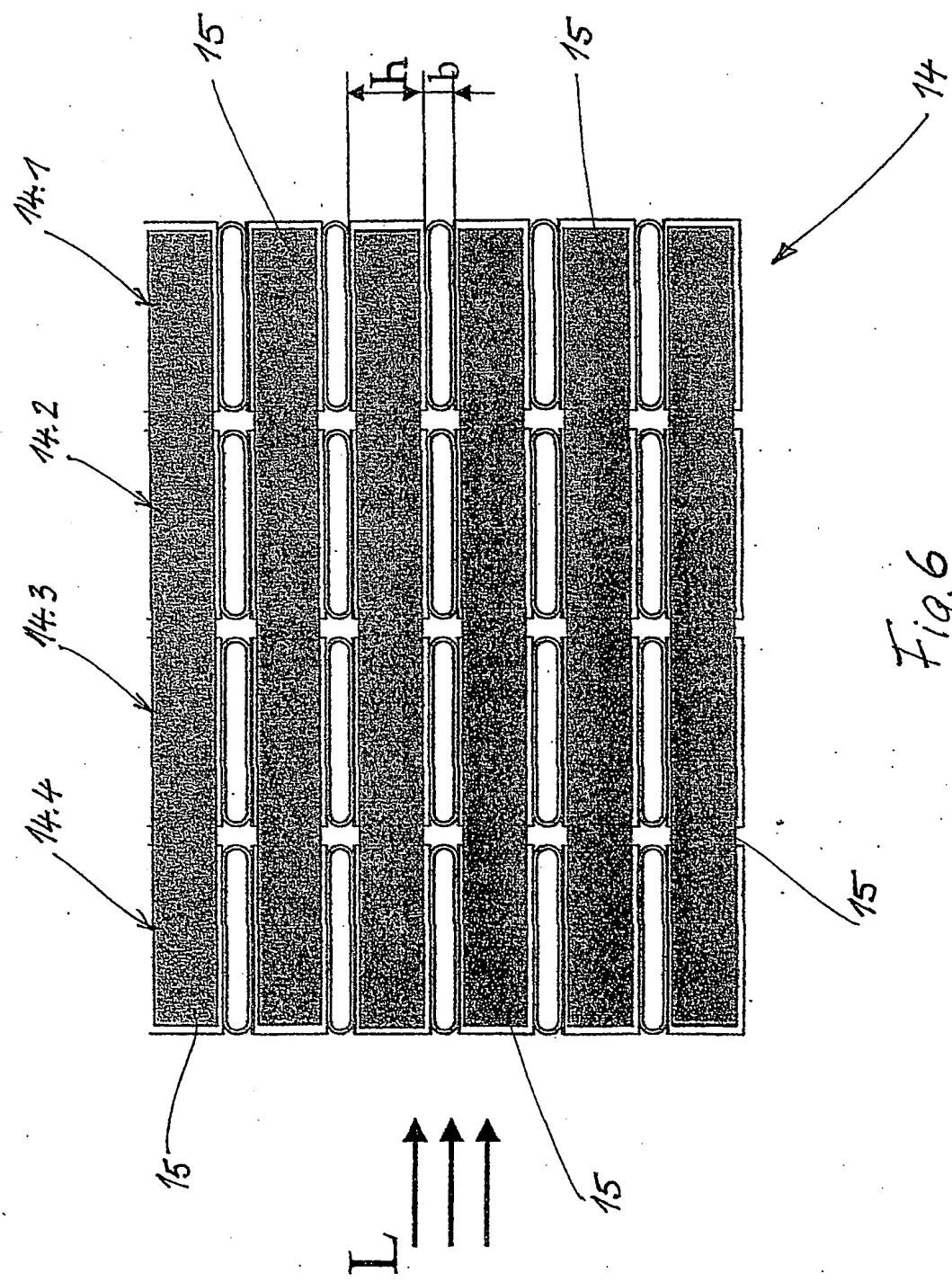


Fig. 5

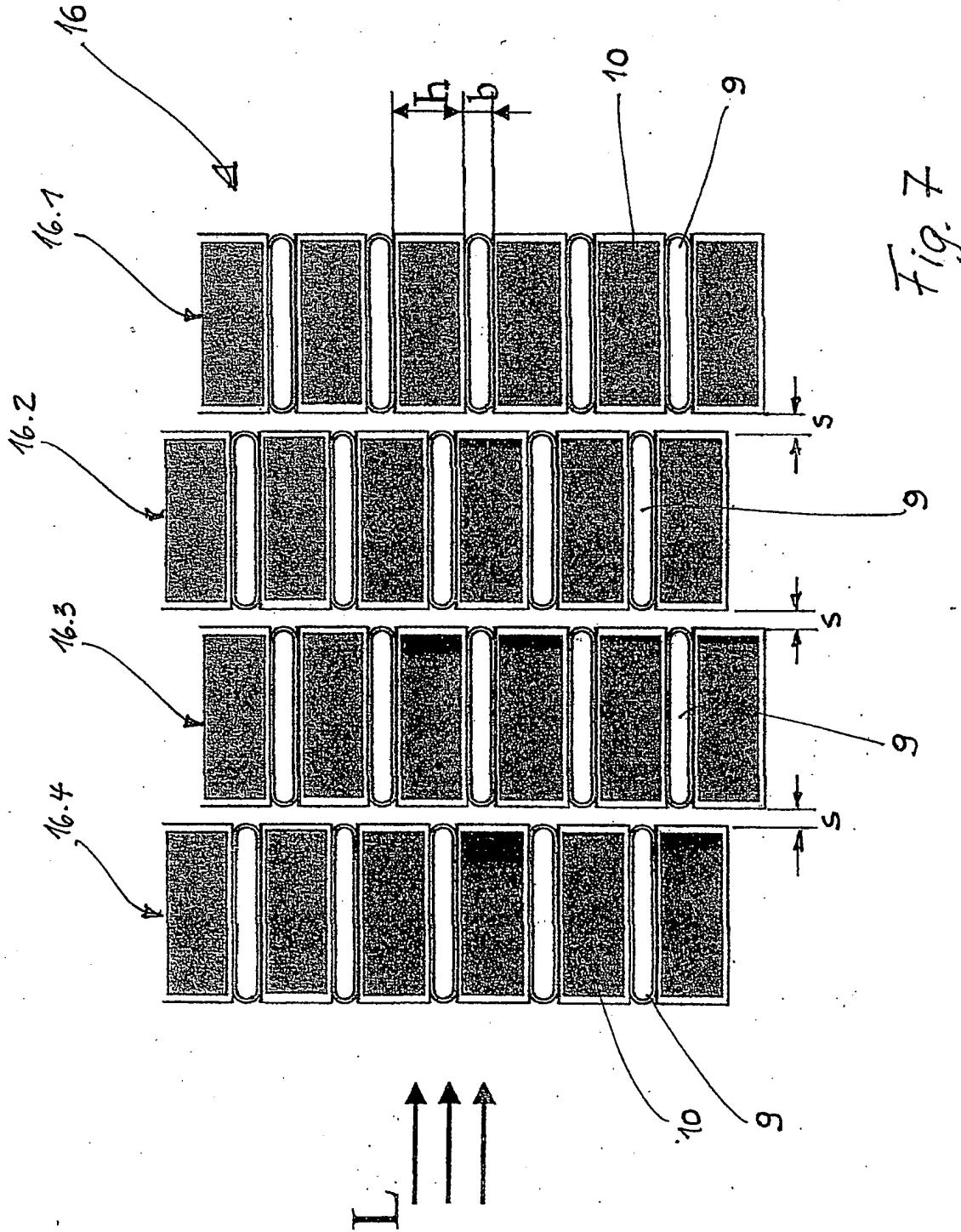
619

03-B-144



719

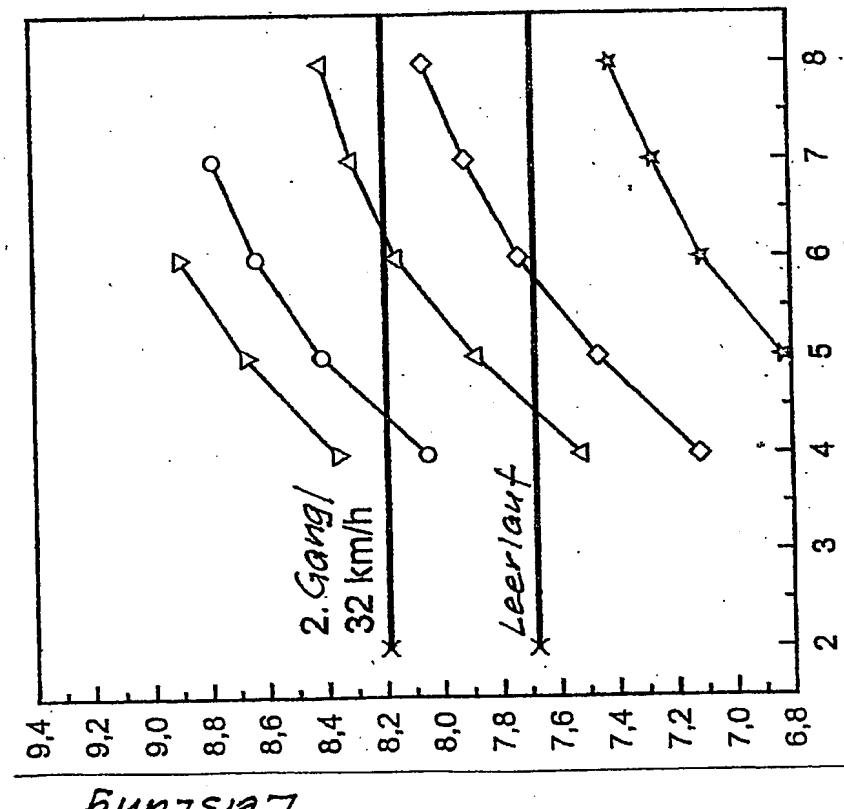
03-B-144



je 1 Segment pro Reihe:

- ▽—  $B \times H = 302 \times 300 \text{ mm}^2$
- $B \times H = 283 \times 280 \text{ mm}^2$
- △—  $B \times H = 262 \times 250 \text{ mm}^2$
- ◇—  $B \times H = 234 \times 230 \text{ mm}^2$
- ×—  $B \times H = 202 \times 200 \text{ mm}^2$

Tig. 8



Anzahl der Reihen

Liftung

919

03-B-141

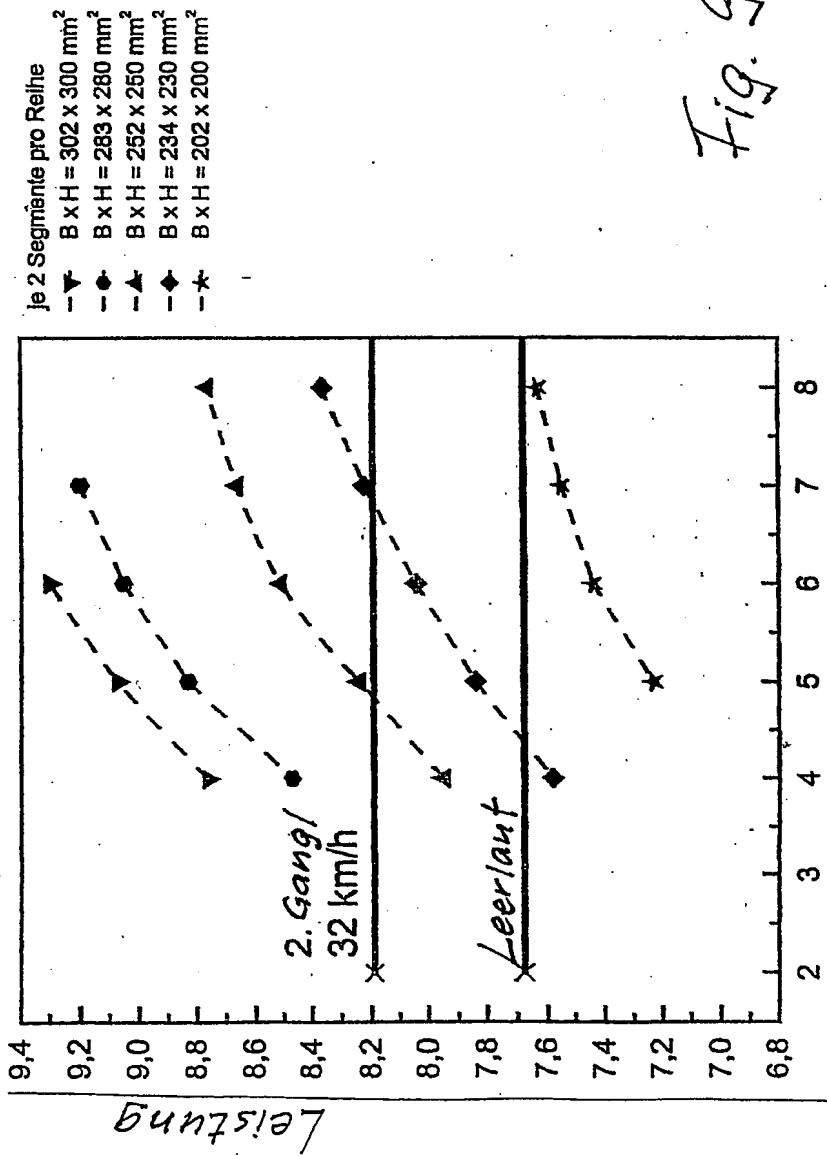


Fig. 9